

脳機能の成長と変化に基づく ヒューマン・ウェルフェア支援に関する研究

黒 田 恭 史

1. はじめに

脳科学は、ヒトとしての一般的・普遍的特性を解明する自然科学と、人間としての固有的、一回的特性を解明する人文科学を紡ぐ学問である。換言すれば、次世代へと生命を引き継ぐ存在としてのヒトと、個々の生涯を全うする存在としての人間との双方を繋ぐことのできる研究分野の一つである。物質の生産過剰に反比例するかのごとく心の未充足が問題となる現代社会にあっては、極めて重要な議論を展開することのできる場であると言えよう。それと呼応する形で、20世紀末葉からは、これまでその多くがベールに包まれていたヒトの脳を直接対象とした研究が、世界的規模で行われるようになった。

アメリカでは1990年から、ヨーロッパでは1992年からの10年間を、脳の10年(Decade of the Brain)としたプロジェクトが、また1999年からは経済協力開発機構(OECD)の教育研究革新センター(CERI)において「学習科学と脳研究」プロジェクトが推進されるようになった(OECD 2002)。日本においても、1990年代半ばから文部科学省が中心となって研究委員会を発足させ、継続的に審議が行われてきており、2009年6月には脳科学委員会による「長期的展望に立つ脳科学研究の基本構想及び推進方策について(第1次答申)」を公にした(科学技術・学術審議会 2009)。そこでは、長期的視野に立った基本方策として、研究推進体制、人材育成、社会との調和についての今後の姿が示されており、中でも、「総合的人間科学」としての脳科学、異分野連携による要素還元論的アプローチと現象学的アプローチの融合、研究者の組織的・継続的育成に重点が置かれている。

現在では、脳活動計測装置の進展とも相まって、脳の傷病を対象とした診断・治療のレベルに止まらず、脳機能解明の目的のもと、健常なヒトの脳活動の特徴の分析が始まっている(黒田 2008)。今後、これらのデータが、個々の人間の生き方を考える上での重要な指標となる日は、そう遠くないと予想される。

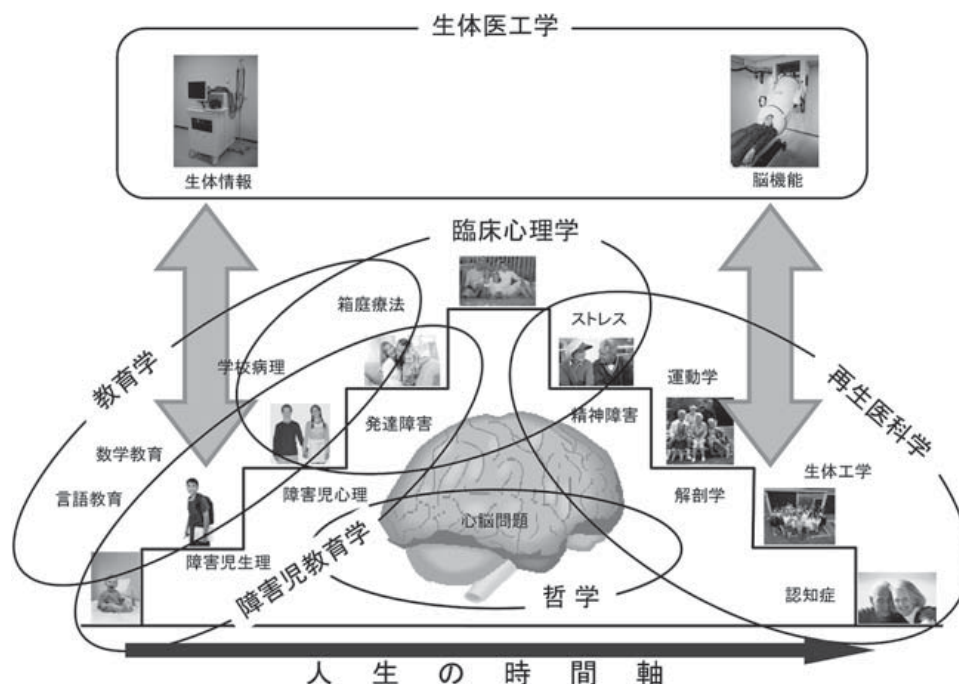


図1 人生の各時期における脳科学との関連図

本研究班では、脳機能を中軸にヒトの生涯を通じた変容を、人間としての尊厳と価値を重んじる生き方を実現するための支援方法を構築することを目的として、3年間の取り組みを行ってきた。とりわけ、下記の点を重点項目として掲げ、ヒトの年齢段階に応じた特性と役割の観点から、各時期における脳機能の特徴を解明し、状況に応じた適切な支援・関わりについて検討・実証した。図1は、人生のステージを、教育学、障害児教育学、臨床心理学、再生医科学、生体医工学、および哲学の6つの分野でカバーし、分野間の協力による新たな支援のあり方について、整理・配置したものである。

教育学：言語教育，数学教育，発達障害，学校病理

臨床心理学：精神疾患，心の病，ストレス

医学：リハビリテーション，生体医工学

哲学：心脳問題

本研究が、人間としての尊厳を保障する社会の実現に向けて、自然科学と人文科学の叡智が結集された研究の足掛かりになるものと考えている。

2. 研究目的

本稿では、筆者の研究領域である教育学の視点に立ち、とりわけ算数・数学教育における脳科学を活用した支援のあり方について検討することを目的とする。併せて、人生全体を網羅する脳機能の成長と変化をサポートするための方策について提案することにする。

3. 社会脳の概念がもたらす現代社会の特性

人間は、生まれたときから死に至るまで、常に様々な集団に属するとともに、各集団において求められる役割が異なる。そのいずれかの集団において関係性が悪化すると、その人が属する他の集団内での関係性にまで影響が及ぶこともある。ひどくなれば、精神疾患に至る場合もある。したがって、属する全ての集団内で良好な関係を構築することは、人間が生きていく上で行うべきことの中で、優先順位がかなり高いことであるといえる。

こうした集団内での関係性を脳科学の分野で取り上げたのが、「社会脳（Social Brain）」という概念である（藤井 2009）。社会脳とは、人間が他者や社会との関係の中で処理する脳の機能全般を指すとされる。社会脳が話題となった背景には、現代社会にあって、他者や社会というものの生活上での占める割合が極めて大きくなったことが挙げられる。実際、ヒトの脳の重さは、体重の約 2% であるが、約 20% のエネルギーを消費するとされている。これだけ高コストな器官が存在するのは、ヒトが生命を良好な状態で維持していく上で欠かせないためであろう。1970 年代から提唱されてきた社会脳仮説（マキャベリの知性仮説）は、この問いに対する一つの回答を示している。ヒトにおける脳の急速な発達、自然環境の変化による要因ではなく、集団内における複雑な社会的環境に適応することに大きく影響を受けたためではないかというのである。

ヒトにおける集団・社会の役割を考えると、社会脳は極めて重要な概念であり、人生の各年齢段階において、被験者単独の実験ではなく、他者の関与を取り入れた実験・検証が必要である。その具体例として、小学生と大学生を対象とした、教育分野での社会脳に関する 2 つの実験の概略について論じることにする。

4. 脳活動計測実験 (1)－定期的なヒント提示－⁽¹⁾

4.1. 実験概要

この実験は、小学生を対象に、計算課題を解答する際に、定期的にヒントを提示するという設定のもと、被験者の脳活動を計測し、その特徴を明らかにすることを目的としている。とりわけ、定期的に自動提示されるヒントが脳活動にどのように反映するのかという点に着目して、分析を行った。

小学校第6学年児童8名（男子4名・女子4名；男子1名が11歳，その他の7名は12歳；全員右利き）を対象として、近赤外分光法による光計測装置を用い、前頭前野（前額部）左側1箇所を計測した（図2）。実験課題には、図3に示すような除法虫食い算を用いた。図4の①～⑥は、ヒント提示の順序を示したものであり、30秒毎に被験者前方のディスプレイ上に数値を表示した。試行は3試行（試行①～③）と



図2 実験場面

$$\begin{array}{r}
 26 \\
 \square 9 \overline{) 7 \square \square} \\
 \underline{\square 8} \\
 17 \square \\
 \underline{17 \square} \\
 4
 \end{array}$$

図3 除法虫食い算課題

$$\begin{array}{r}
 \text{③} 29 \overline{) 7 \text{①} 5 \text{⑤} 8 \text{⑥}} \\
 \underline{\text{②} 58} \\
 17 \text{④} 8 \text{⑦} \\
 \underline{17 \text{④} 4} \\
 4
 \end{array}$$

図4 ヒント提示手順

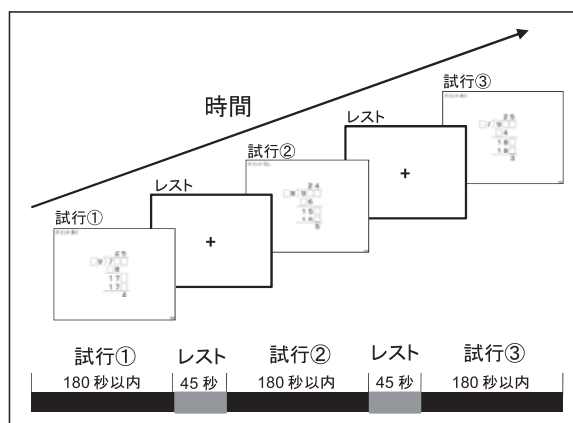


図5 課題手順

し、各試行に1問の虫食い算を設定した（図5）。いずれの問題も、3桁÷2桁=2桁あまり1桁であり、6箇所を空欄箇所とした。各試行とも制限時間を180秒間とし、試行間には45秒間のレストを設けた。

本実験において使用する脳活動計測装置は、NIRS（Near Infra-Red Spectoroscopy）であり、以下の2種類のヘモグロビン濃度変化を算出することができる（江田2001）。

- ・oxyHb（oxygenated hemoglobin）：酸素を有したヘモグロビン。一般に、学習活動を行うと増加するとされる。
- ・deoxyHb（deoxygenated hemoglobin）：酸素を放出したヘモグロビン。一般に、学習活動の負荷が非常に高い場合に増加するとされる。

oxyHb, deoxyHb の濃度変化は、縦軸をヘモグロビン濃度変化（ $\mu\text{M} \cdot \text{cm}$ ）、横軸を所要時間（秒）として、図6の左側のグラフのように表示することができる。黒色線はoxyHbの変化、灰色線はdeoxyHbの変化である。試行間の時間帯はレストである。また、各試行におけるヘモグロビン濃度変化を個別に分析するために、各試行の

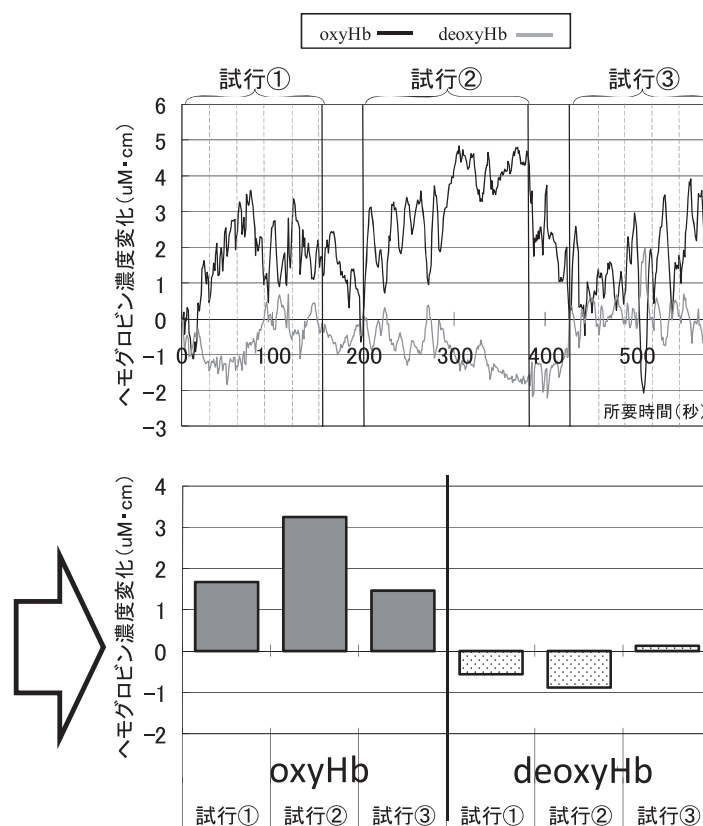


図6 ヘモグロビン濃度変化の平均値の算出

開始時のヘモグロビン濃度変化の値が0となるようデータ補正を行った。このデータから、各試行の oxyHb と deoxyHb の平均値を算出したものが図6の右側のグラフである。

ヘモグロビン濃度変化の結果では、上記の方法による被験者8名の脳活動データの平均値を算出後、所要時間及び事後の感想（方略獲得の有無）をもとに分類した群別に、oxyHb, deoxyHb の各試行の平均値を算出し、その特徴を分析した。その後、所要時間、事後の感想により分類した各群の代表的な1名のヘモグロビン濃度変化のグラフについて検討を行った。

4.2. 実験結果

4.2.1. 行動観察

被験者8名を、平均所要時間の長い順から被験者A～被験者Hとおく。5名（被験者D～被験者H）は全箇所正答（3試行×6箇所）であり、3名（被験者A～被験者C）は試行②において未解答であった（試行①、試行③は全6箇所正答）。被験者Aと被験者Cは、試行②の全6箇所未解答であり、被験者Bは5箇所未解答であった。

表1は、各被験者の所要時間と、平均所要時間を示したものである。この結果より、全てに所要時間の長い、被験者A, B, Cと、試行①のみ長い、被験者D, E, Fと、全てに所要時間の短い、被験者G, Hに分類することができる。

正誤、所要時間、事後の感想の結果より、被験者の解決方法には、大きく3通りのタイプが存在した。そこで、ヘモグロビン濃度変化については、被験者を次の3つの群（第Ⅰ群～第Ⅲ群）に分けて検討を行う。

表1 所要時間（秒）

被験者 \ 問題	試行①	試行②	試行③	平均
A	154	180	156	163.3
B	132	180	139	150.3
C	136	180	131	149.0
D	161	83	62	102.0
E	132	69	55	85.3
F	100	73	61	78.0
G	78	67	42	62.3
H	64	36	25	41.7
平均	119.6	108.5	83.9	104.0

- ・第Ⅰ群（被験者 A, B, C）：試行全体においてヒントを方略獲得に活かすことができなかったため、最後までヒントをもとに解答した。
- ・第Ⅱ群（被験者 D, E, F）：試行①のヒントを方略獲得に活かすことができたため、試行②、③では独力で解決が可能であった。
- ・第Ⅲ群（被験者 G, H）：課題遂行当初からヒントを必要とせず、独力で解決に至った。

4. 2. 2. ヘモグロビン濃度

最初に、群別の2種類のヘモグロビン濃度変化の平均値の特徴について言及し、その後、各群から代表的な1名を取り上げ詳細について検討する。この1名のデータ分析においても該当群の共通した特徴を取り上げるようにする。本実験では、被験者総数が少ないため、これらが一般性を持つのかという点については十分な注意を保ちつつ、現段階での、データの教育的意義に関する可能性に言及することとする。

図7は、各被験者のヘモグロビン濃度変化の平均値を算出し、その値を用いて群別の平均値を求めたグラフである。図7より、第Ⅰ群は、試行におけるoxyHbの増加と、deoxyHbの減少が総じて顕著であった。第Ⅱ群は、試行を経るごとにoxyHbが減少しており、deoxyHbの変化は小さかった。第Ⅲ群は、oxyHb, deoxyHbとも変化が小さかった。また、各群の標準偏差は、第Ⅰ群が最も大きく、第Ⅱ群、第Ⅲ群と、順に減少した。

第Ⅰ群（被験者 A, B, C）：終始ヒントを必要とした第Ⅰ群からは、所要時間が最長で、ヘモグロビン濃度変化が顕著であった被験者 A を取り上げる。図8の黒色線はoxyHbの変化、灰色線はdeoxyHbの変化を、試行間の時間帯はレストを示している。各試行にある縦破線はヒント提示を行った時点を示した線である（図9、図10

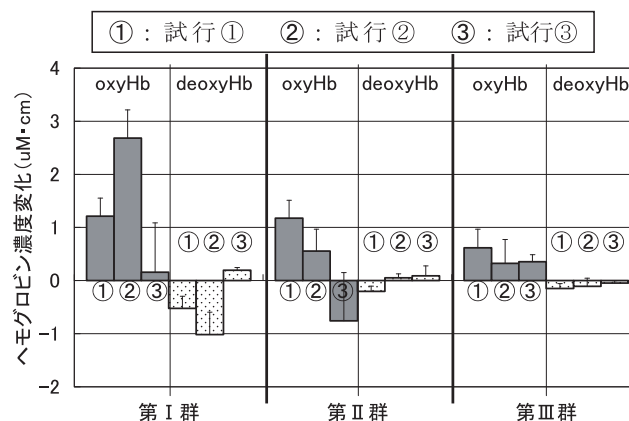


図7 群別のヘモグロビン濃度変化

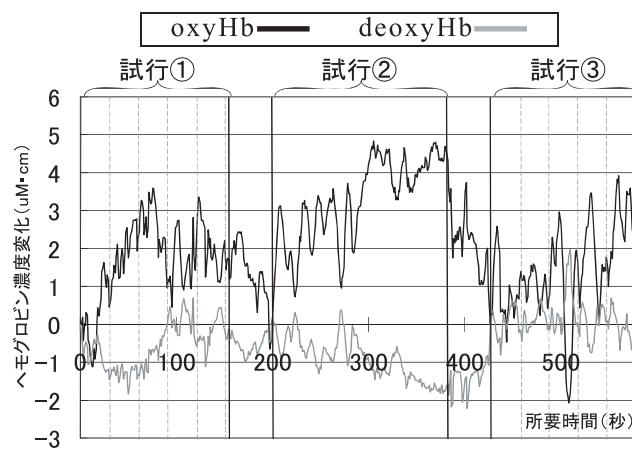


図8 被験者 A ヘモグロビン濃度変化

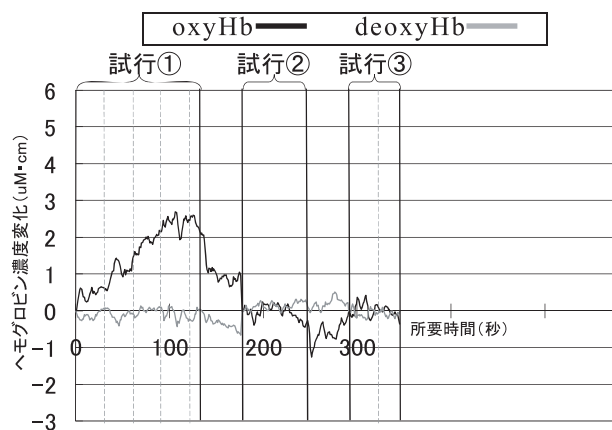


図9 被験者 E ヘモグロビン濃度変化

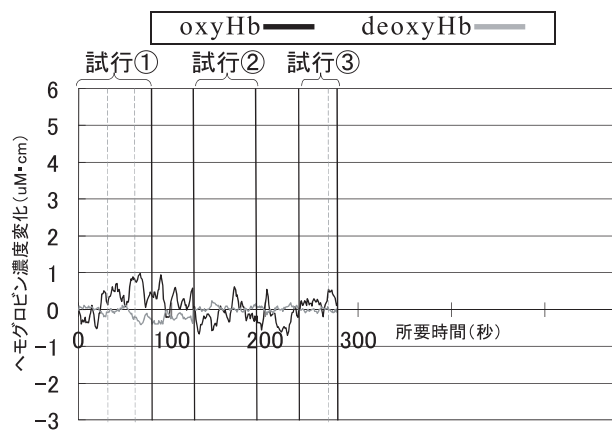


図10 被験者 G ヘモグロビン濃度変化

も同様)。図 8, 9, 10 内の縦軸、横軸のスケールは、最大である図 8（被験者 A）に統一した。

図 8 より、oxyHb は、試行①～③それぞれが大幅な増加傾向にあり、いずれも増加が継続する右上がりの波形であった。また、deoxyHb は、oxyHb の増加時には減少傾向に、oxyHb の減少時には増加傾向にあった。

第Ⅱ群（被験者 D, E, F）：試行②から独力で解決可能になった第Ⅱ群からは、平均的な所要時間の被験者 E を取り上げる。図 9 より、oxyHb は、所要時間が最長である試行①では最後まで増加が継続し、右上がりの波形となった。所要時間が短くなる試行②、③では、0 付近において推移する傾向にあった。また、deoxyHb は、いずれの試行も 0 付近で推移し、増減がほとんど見られなかった。

第Ⅲ群（被験者 G, H）：終始ヒントを必要とせず自力で解決可能であった第Ⅲ群からは、所要時間の長い被験者 G を取り上げる。図 10 より、oxyHb, deoxyHb とともに、いずれの試行も 0 付近で推移し、増減がほとんど見られない結果となった。

4. 3. 考察

4. 3. 1. 行動観察

第Ⅰ群の被験者 3 名は、感じた難度が試行全体を通して高かったことと、ヒントがなければ解答に至ることができないとの事後の感想より、ヒントに依存して解答を行い、方略を獲得することができなかったといえる。

第Ⅱ群の被験者 3 名は、所要時間が試行を経るごとに短縮されていることと、試行①でヒントがなければ、試行②、③を解くことができなかったとの感想より、試行②からは方略を獲得し、独力で解決することができるようになったといえる。

第Ⅲ群の被験者 2 名は、試行①から所要時間が短く、いずれの試行においてもヒントを必要としなかったとの感想より、開始当初から方略を獲得していたといえる。

4. 3. 2. ヘモグロビン濃度

第Ⅰ群では、全試行を通して oxyHb の増加が見られたが、これは全ての試行で方略を見つけ出すための試行錯誤が行われ、前頭前野への血液の流入がなされたことによると予想される。一方、deoxyHb は oxyHb と逆の変化を示したが、これは血液の大幅な流入により、相対的に減少したことが考えられる。

第Ⅱ群では、方略獲得に伴い oxyHb の増加（試行①）から、増加の抑制（試行②、③）への変移が見られたが、これは効率的に解決可能になることにより、前頭前野への血液の流入が抑制されたことによると予想される。また、deoxyHb は第Ⅰ群とは異

なり，全試行を通して増加が見られなかったが，これは方略獲得に伴う血液流入の抑制によるものと考えられ，oxyHbが増加した試行①においても，第Ⅰ群ほどの急激な血液の流入がなかったため，deoxyHbが減少しなかったと考えられる。

第Ⅲ群では，oxyHbとdeoxyHbの大幅な変化が見られなかったが，これは除法筆算の虫食い算の経験があり，開始直後から方略獲得がなされ，効率的に解決できたことによると予想される。第Ⅱ群における，方略獲得後の状態と同様の状態が，当初より見られたと考えられる。

5. 脳活動計測実験（2）－教師と生徒の同時計測－⁽²⁾

5.1. 実験概要

この実験は，大学生の被験者を教師役と学習者役の二役に分け，学習者役が計算課題を解決する状況に応じて，教師役がヒントを提示するという設定のもと，両者の脳活動を同時計測し，その特徴を明らかにすることを目的としている。とりわけ，課題解決過程における教師役の観察・関与（ヒント提示）行為が脳活動にどのように反映するのか，また，ヒント提示時前後の教師役と学習者役の脳活動はどのような傾向と関連を持つのかという点に着目して，分析を行った。

脳活動計測実験の概要であるが，大学生11組（計22名）を対象として，近赤外分光法による光計測置を用い，両者の前頭前野（前額部）左側1箇所を計測した。実験課題には，図11に示すような除法虫食い算を用いた。図11の空欄箇所のA～Hは，

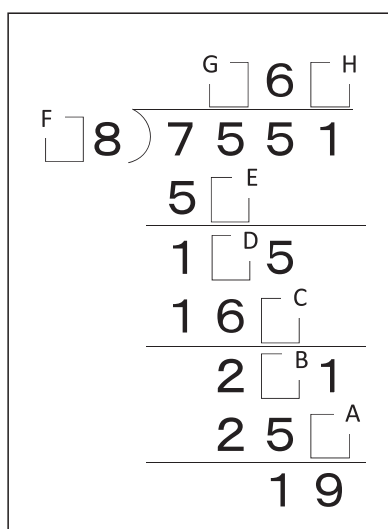


図11 除法虫食い算

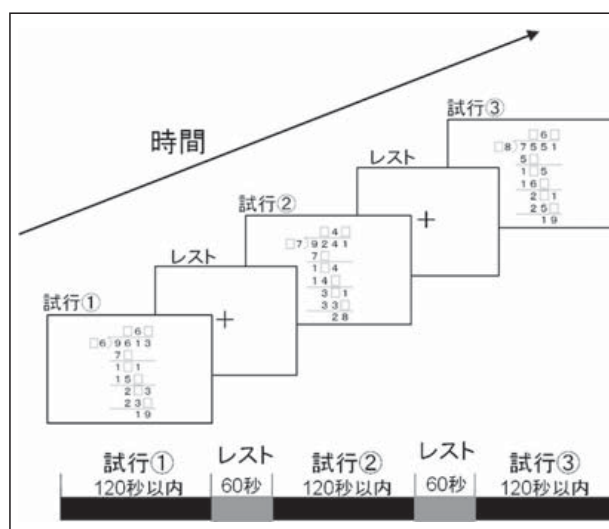


図12 実験順序

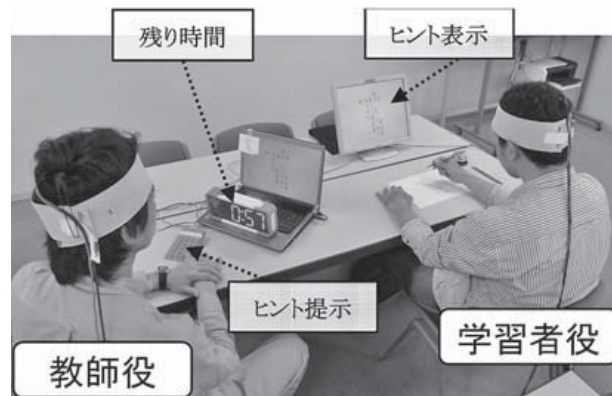


図 13 実験場面

ヒント提示の順序を示したものであり、実際の実験時には表示していない。試行は3試行（試行①～③）とし、各試行に1問の虫食い算を設定した（図12）。いずれの問題も、 $4 \text{ 桁} \div 2 \text{ 桁} = 3 \text{ 桁あまり} 2 \text{ 桁}$ であり、8箇所を空欄箇所とした。各試行とも制限時間を120秒間とし、試行間には60秒間のレストを設けた。

教師役1名、学習者役1名の2名を1組として、両者の脳活動計測を実施した（図13）。学習者役は、手元に用意された除法虫食い算のプリントに取り組む役割、教師役は、学習者役の課題解決状況を観察しながら、適切だと考えるタイミングで手元のボタンを押し、学習者役にヒントを提供する役割とした。ヒントは、虫食い算の空欄部分の数字を示すもので、提示順序（図11に記したAからHの順）が解答方法を示唆するものである。教師が提供したヒントは、学習者役の前に設置されたディスプレイ上に提示される仕組みとした。各試行の制限時間が120秒であることを両者に伝え、残り時間は、教師役のみが把握する設定とした。

実験では、oxyHbのみを分析対象とした。データ分析に際しては、教師役と学習者役のデータを比較し、（1）試行全体における二者の脳活動の特徴はどうであるのか、（2）ヒント提示前後の局所的な場面における二者の脳活動の特徴はどうであるのかという2点に着目して行った。

5.2. 実験結果

試行全体における教師役と学習者役の脳活動データの違いを検討するため、図14のように、教師役と学習者役の時系列データについて、毎秒のoxyHb値の二者間差（矢印部分に該当）を絶対値で算出した。

表2は、算出した絶対値について「各試行の（差の）平均」、「（1試行あたりの差

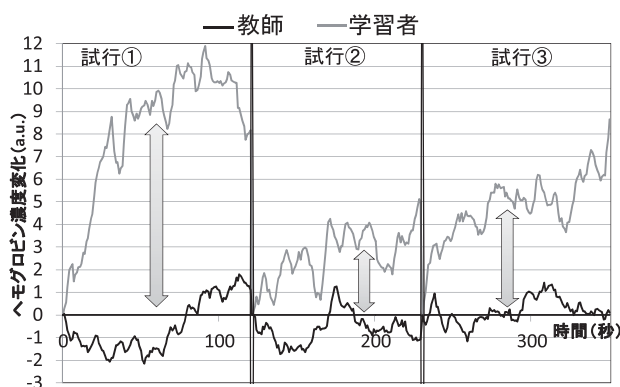


図 14 教師役と学習者役の脳活動

表 2 教師役－学習者役間の差

組	各試行の平均			平均	方略 獲得の 可否
	試行 ①	試行 ②	試行 ③		
A	9.8	1.6	4.0	5.1	×
B	8.6	3.2	4.6	5.5	×
C	4.1	1.0	1.0	2.0	○
D	3.3	2.4	0.7	2.2	○
E	2.4	1.4	0.7	1.5	○
F	2.6	2.6	0.4	1.9	○
G	4.4	2.9	0.5	2.6	○
H	4.0	1.0	2.0	2.3	○
I	1.2	0.9	0.5	0.9	○
J	1.5	0.7	0.8	1.0	○
K	0.8	1.2	0.5	0.8	○

の「平均」を、11組（A～K組）それぞれについて求めたものである。また表中にある「方略獲得の可否」とは、学習者役が最終的に方略を獲得して自力で解決できるようになったかを示したものである。表2における11組それぞれの絶対値平均を比較すると、およそ3つの群（A・B組、C～H組、I～K組）に分類することができる。それぞれの群名とその特徴は以下である。

- ・第Ⅳ群（A・B組）：「（1試行あたりの差の）平均」が5.0を超えており、二者間の差が11組中、最大の群であった。学習者役は、最後まで方略を獲得できなかった。
- ・第Ⅴ群（C～H組）：「（1試行あたりの差の）平均」が1.5～2.6であり、二者間の差が11組中、中程度の群であった。学習者役は、課題遂行過程で方略を獲得することができた。
- ・第Ⅵ群（I～K組）：「（1試行あたりの差の）平均」が1.0以下であり、二者間の差が11組中、最小の群であった。学習者役は、課題遂行過程で方略を獲得することができた。

5.2.1. 全体的なヘモグロビン濃度の傾向

各群における脳活動の全体的な時系列データの特徴を分析した。図15, 16, 17は、各群から典型的な1組を取り上げ、教師役と学習者役のoxyHbの時系列データを示したものである。それぞれ、横軸が時間、縦軸がoxyHbの変化を示し、黒色が教師役、灰色が学習者役の変化を表している。

以下では、各群の特徴に言及する。グラフとしては、1組ずつを取り上げたが、特徴は群内に共通するものである。

図 15 は、第Ⅳ群(B 組)の結果である。いずれの試行においても、学習者役の oxyHb は大幅に増加しているのに対して、教師役のデータは 0 付近で推移している。

図 16 は、第Ⅴ群 (C 組) の結果である。試行①では、学習者役の oxyHb が増加しているのに対して、教師役は学習者役程の増加は見られない。ただし、教師役は試行

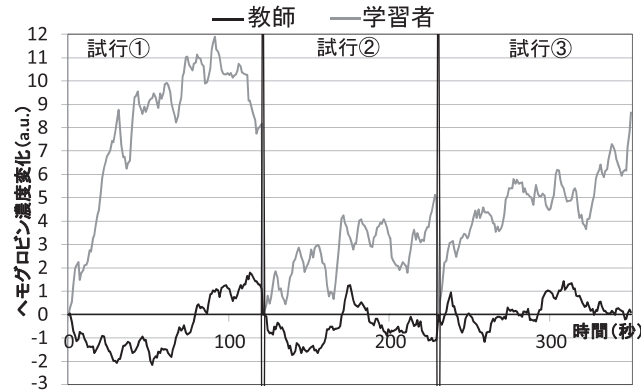


図 15 第Ⅳ群の oxyHb グラフ

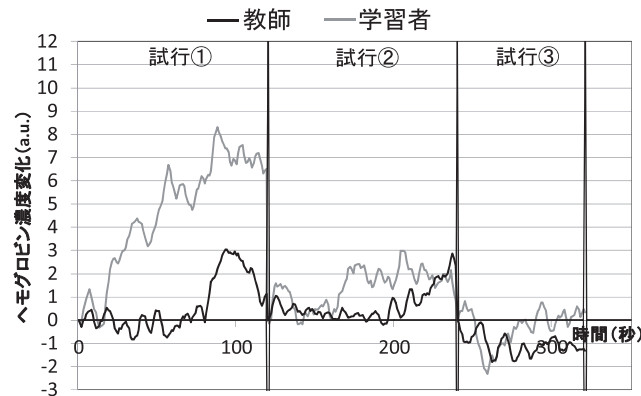


図 16 第Ⅴ群の oxyHb グラフ

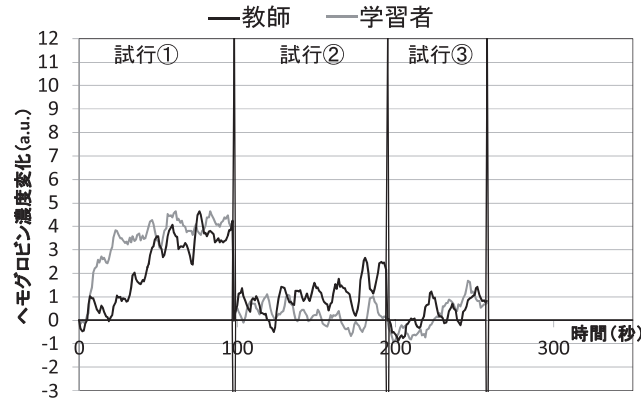


図 17 第Ⅴ群の oxyHb グラフ

①, ②の後半では, 増加が見られる。試行ごとに学習者役の増加は抑制され, 二者間差は縮小している。

図 17 は, 第Ⅵ群 (I 組) の結果である。他の群と異なり, 試行①では, 教師役も oxyHb が学習者役と同程度に増加しているという特徴がある。教師役, 学習者役の両者とも, 試行を経るごとに oxyHb の増加が抑制されるという類似した変化を示し, 両者の差は小さい。

5. 2. 2. 局所的なヘモグロビン濃度の傾向

ヒント提示による局所的な脳活動の特徴を分析するため, 教師役と学習者役のヒント提示前後各 5 秒間の oxyHb データを抽出し, 分析を行った。提示された全てのヒントについて, 図 18 に示すようなヒント提示時を原点 O とする前後各 5 秒間の増減を表すグラフを作成した。続いて, 教師役, 学習者役ともに, ヒント前 5 秒間, ヒント後 5 秒間のデータの平均値を算出した。例えば, 図 18 の教師役の場合, 平均値はヒント前が負の数, ヒント後が正の数となるわけである。

これらの手順で算出した平均値をもとに, 第Ⅳ群, 第Ⅴ群, 第Ⅵ群について, 教師役と学習者役の平均値を求めた結果が, 図 19 (教師役), 図 20 (学習者役) である。いずれも横軸の「前」「後」は, ヒント「前」「後」各 5 秒間の oxyHb の平均値であり, 「ヒント提示」時の数値は 0 である。黒色実線, 灰色破線, 黒色点線は, それぞれ第Ⅳ群, 第Ⅴ群, 第Ⅵ群を示している。

教師役, 学習者役ともに, ヒント前後それぞれについて, 3 群間の分散分析を行った。有意差が認められた場合には, 下位検定として Tukey の HSD 検定を実施した。各群のヒント数は, 表 3 に示した。

図 19 より, 教師役においては, ヒント前後とも, 3 群間に有意差は認められず,

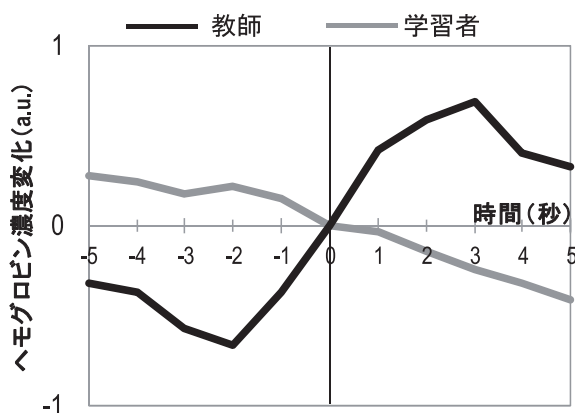


図 18 ヒント提示時を原点とした前後 5 秒間の脳活動 (oxyHb) データ

表 3 各群のヒント数

	第Ⅳ群	第Ⅴ群	第Ⅵ群
ヒント総数	28	33	34
1 組あたりの平均ヒント数	14.0	5.5	11.3

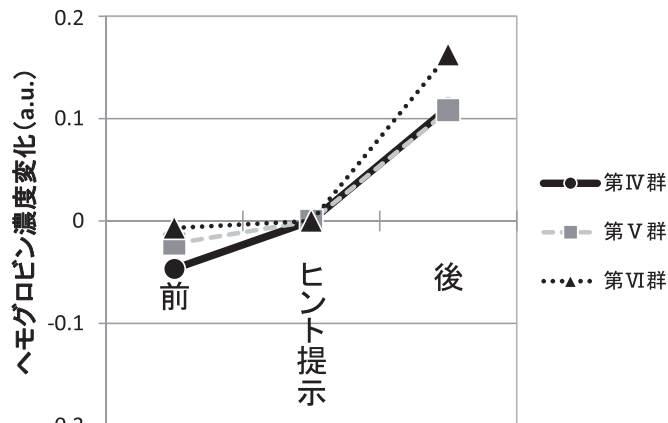


図 19 群別平均値（教師役）

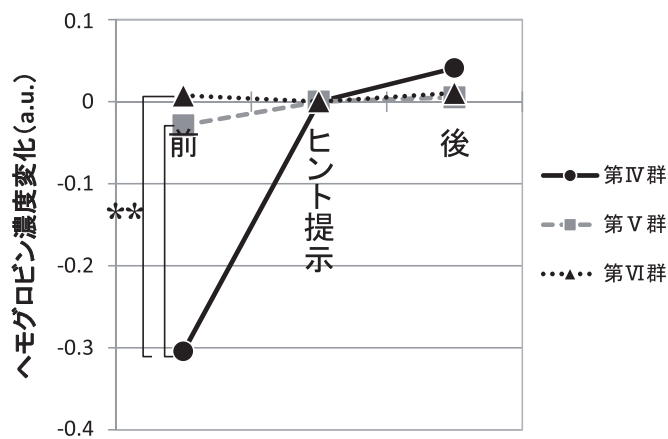


図 20 群別平均値（学習者役）

類似した結果が得られた。ヒント前は0に近い負の値，ヒント後に正の値となっていることから，ヒント前から提示にかけて緩やかに増加し，さらにヒント提示後も増加したことを示している。ヒント提示後の増加量は，提示前に比べて大きく，約2倍程度である。

図 20 より，学習者役においては，ヒント前で群間に差が認められ，第IV群が，第V群，第VI群とは有意に異なる結果となった（* $p < .05$ ）。一方，ヒント提示後の群間に，有意差は見られなかった。ヒント前は，第V群，第VI群が0付近で推移しているのに対し，第IV群は他の群よりも大幅に低い負の値であることから，ヒント提示までの増加が顕著であったことを示している。ヒント後は，いずれの群も0に近い正の値付近で推移しており，大幅な増加や減少が生じなかったといえる。

5.3. 考察

上記の結果を踏まえ、教師と学習者の関係について考察する。

5.3.1. 全体的な傾向

第Ⅳ群の場合、学習者役は方略の獲得ができない状態で解決方法を最後まで模索し続けたため、oxyHb の大幅な増加につながったと考えられる。教師役は、観察過程全体を通じて、客観的に状況を観察したと予想され、試行全体としての oxyHb の増加が生じなかったと考えられる。

第Ⅴ群の場合、学習者役は、最初の試行では、解決方法を模索していたことで高い思考状態にあったが、解決方略を獲得することによって思考活動が軽減され、oxyHb の増加幅が縮小したと考えられる。教師役は、第Ⅳ群と同様に、客観的に学習者の状況を観察したと予想され、試行全体としての oxyHb の増加が生じなかったと考えられる。

第Ⅵ群の場合、学習者役は、第Ⅴ群と同様、最初の試行では、解決方法を模索していたことで高い思考状態にあったが、解決方略を獲得することによって思考活動が軽減され、oxyHb の増加幅が縮小したと考えられる。教師役は、試行開始直後から学習者役を観察する過程において、学習者役の状況や心情を推察したことにより、oxyHb の増加が生じたと考えられ、全体を通して学習者役と類似した変化を示したと推察される。

これら3群を比較すると、学習者役の方略獲得がなされた点で、第Ⅳ群よりも、第Ⅴ群、第Ⅵ群の方が、行動観察結果において好成績であった。とりわけ、第Ⅵ群の教師役は、脳活動が学習者役と同様に増加し、学習者役の状況をより共有していたと考えられる点で、一種の望ましい教師と学習者の関係を構築したと考えることができる。ただし、ここで重要なことは、望ましい群を一つに決定することではなく、学習者の状況に応じた教師の対応にはどのようなタイプが存在し、それぞれのタイプにおける生理学的特性を解明・整理していくことにあるといえる。何故なら、第Ⅳ群に見られる、学習者と一定の距離を保って学習状況を客観的に観察し、十分な思考を保証するという点も、時には必要となるからである。

5.3.2. 局所的な傾向

ヒント前後の脳活動データについては、教師役、学習者役それぞれの群が類似した特徴を示す傾向にあった。以下では、教師役と学習者役に分けて考察を行う。

教師役については、いずれの群も、oxyHb がヒント前から提示にかけてやや増加し、ヒント提示後は増加幅を拡大させた。このことから、教師役は、ヒント提示の用

意を行う提示前よりも、ヒントによって学習者役がどのような反応を示すかを観察し、見極める必用のある提示後に思考が高まるという共通の傾向があったと考えられる。

学習者役について、ヒント前は、第Ⅴ群、第Ⅵ群が0付近で推移しているのに対し、第Ⅳ群は増加が顕著であった。ヒント後は、いずれの群も0付近で推移して、大幅な増加や減少が見られなかった。第Ⅳ群は、ヒント前は高い思考状況にあったが、ヒント提示によって負荷が軽減され、oxyHbの増加が抑制されたと考えられる。

学習者役の課題方略獲得の有無に関わらず、ヒント提供側と受信側にそれぞれ共通する脳活動データの傾向が見られたことから、ヒントを境に、教師役は思考活動を活発化させ、学習者役は思考活動の落ち着きをもたらしたと予想される。

6. まとめ

小学生と大学生を被験者として、課題遂行時の脳活動データの特徴について検討した。その結果を「社会脳」の観点から纏めると、次のようになる。

(1) 小学生を対象としたヒント自動提示実験における脳活動分析結果より、外部からの情報（ヒント）の効果の有無が、学習者の脳活動に大きく影響を与えることが明らかになった。このことは、人間が様々な場面で学習を行っていく際に、他からの適切な関与が極めて重要であるということを物語っており、さらに、個々人の状況に応じた関与のあり方が検討されるべきであることを示したものであるといえる。

(2) 大学生を対象とした教師役と学習者役実験の脳活動分析結果より、教師役の観察・関与に対する方針の差異が、教師役の脳活動データの特徴に大きく反映するとともに、学習者役の解決方略獲得の可否にも影響することが示された。また、局所的な傾向の分析結果より、教師役においては、ヒント提示後の効果観察において脳活動が活発となること、一方で、学習者役においては、ヒント提示後には均衡を示すという共通の傾向が見られた。

(3) (1)、(2)の分析結果より、学習過程の各時点において、関与される側（学習者）と関与する側（教師）の双方の脳活動は大きく呼応し、問題解決の方向へと向かった場合には、脳活動が沈静化するという傾向を持つことが明らかになった。その意味において、如何に学習者の脳活動を落ち着かせるように、関与する側が各場面に応じて配慮を施すのかということが、重要であることが導き出された。

上記の実験結果より、こうした「固有性」と「普遍性」の問題を往還することが、

「社会脳」研究では重要であると言える。その成否が、脳機能の成長と変化をサポートすることにつながると考えられる。

註

- (1) 本実験は、岡本尚子，黒田恭史，前迫孝憲，江田英雄「授業場面を想定した学習過程時の NIRS による脳活動の特徴 - 小学生を対象とした虫食い算課題におけるヒント提示実験を通して -」（『教育実践学研究 Vol.10, No.2』，2009 年），11-20 頁の内容をもとに，社会脳の立場から加筆・修正を行ったものである。
- (2) 本実験は，註(1)と同様に，岡本尚子，黒田恭史，前迫孝憲「計算課題遂行児における教師 - 学習者間の神経科学的検討」（『教育システム情報学会誌 Vol.30, No.1』，2013 年）122-127 頁の内容をもとに，社会脳の立場から加筆・修正を行ったものである。

参考文献

- 江田英雄「21 世紀の科学をつくる - 脳の謎に挑む 6 - 光計測で脳活動をみる -」（『数理科学 No.461』，2001 年）76-83 頁
- 藤井直敬『つながる脳』NTT 出版，2009 年
- 科学技術・学術審議会「長期的展望に立つ脳科学研究の基本的構想及び推進方策について - 総合的人間科学の構築と社会への貢献を目指して -（第 1 次答申）」（URL：http://www.lifescience.mext.go.jp/download/houkoku/nou_090623.pdf），2009 年（2013 年 10 月 10 日現在）
- 黒田恭史『脳科学の算数・数学教育への応用』ミネルヴァ書房，2007 年
- OECD, *Understanding the Brain: Towards a New Learning Science*, OECD, 2002（小泉英明 監修，小山麻紀訳『脳を育む 学習と教育の科学』明石書店，2005 年）
- （くろだ やすふみ 共同研究 主任／教育学部 教授）